

야전운용제원을 활용한 RAM분석 사례: 해군함정을 중심으로

A Case Study of RAM Analysis Using Field Data: Focusing on Korean Warship

손정목*, 장정무**, 원유동*
경남대학교*, 국방기술품질원**

Jung-Mok Sohn(navysonjm1@naver.com)*, Chung-Moo Chang(chungmoo@empal.com)**,
You-Dong Won(wonyd@kyungnam.ac.kr)*

요약

야전운용제원을 이용한 RAM분석은 무기체계 도입과 운용에 유용한 중요 분석이다. 하지만 해군함정의 경우 분석에 핵심적인 고장정보가 없어 분석이 제대로 수행되지 못하는 실정이다.

본 연구에서는 정비실적과 자재소비실적을 사용하여 고장을 추적하는 프로세스를 새롭게 제안하고, 제안한 방법으로 분석이 가능하다는 것을 입증하였다. 제안한 분석방법으로 함정 9척에 대해 분석한 결과, 실제 장비운용자들의 경험치와 상당히 부합하는 것으로 확인되어 그 타당성이 확보되었다.

국내 운용환경과 다양한 변수들의 영향이 반영된 연구결과는 기존의 RAM예측값 보정과 검증에 유용하게 활용될 수 있을 것이며, 자료가 충분히 누적된다면 한국 고유의 RAM분석DB로 활용이 가능할 것으로 예상된다.

■ 중심어 : 램 | 신뢰도 | 정비도 | 가용도 | 야전운용제원 |

Abstract

RAM analysis using field data is important and useful for acquisition and operation of weapon systems. But this kind of analysis didn't conducted due to the absence of weapon system's failure data in case of warship.

This study suggest failure tracking process based on maintenance and repair parts consumption data and proves suggested method enables conducting RAM analysis. This method obtains validity through field operator's reviews. The results on 9 warships in this study significantly correspond with weapon system operator's experiences.

Because the result of this study contains effects of various operational environments in field, it will useful for correction and verification on existing another weapon system's RAM estimates. If this kind of RAM data are sufficiently accumulated, it will be used to DB of korean unique RAM analysis.

■ keyword : RAM | Reliability | Maintainability | Availability | Field Data |

I. 서론

국방분야의 RAM은 신뢰도(Reliability), 정비도(Maintainability), 가용도(Availability)의 총칭으로 요

소별 예측 및 분석활동을 통하여 설계지원/평가, 설계/대안도출, 군수지원분석 등을 지원하는 업무로써 무기체계의 고장빈도(신뢰도: MTBF, MKBF 등), 정비업무량(정비도: MTTR, MR 등), 전투준비태세(가용도: Ai,

Ao 등)를 나타내는 척도로 사용되고 있다[1].

미국의 국방획득프로세스[2]에 따르면 RAM활동은 획득 이전단계에서 시작하여 개발, 양산 그리고 운용 및 지원단계까지 지속되는데 소요군의 요구사항과 제한사항의 이해(1단계), RAM 설계 및 재설계(2단계), 신뢰성있고 정비성 있는 체계 양산(3단계), 야전성능모니터(4단계)의 4개의 주요단계를 통해 무기체계가 신뢰할 수 있는 RAM수준을 달성할 수 있다.

하지만 국내의 무기체계 획득단계별 RAM업무 실태를 보면 소요제기단계에서 ILS요소개발소요가 누락이 되어 RAM분석이 미 실시되는 경우가 있고 시험평가단계에서 체계에 대한 신뢰도 시험이 이루어지고 있지만 구성품에 대한 신뢰도 시험이 생략되는 경우가 많으며 국내·외의 운용경험자료가 부족하고 신뢰도규격(MIL-HDBK-217F, NPRD 등)의 적용에 있어서 파라미터와 운용조건의 식별이 어려워 적용에 제한을 받고 있다[3][4].

따라서 자동차, 전자제품 등 국제수준의 신뢰도규격을 적용하여 세계시장에서 경쟁력을 인정받고 있는 민수분야와는 달리 미국, 영국 등 선진국 대비 체계 신뢰성관련 설계능력이 미흡하고 운용경험자료 또한 해외 DB에 의존도가 높은 국방분야의 실정[5]을 감안할 때 무기체계 획득의 전순기에 활용가능한 국내에서 운용 중인 무기체계에 대한 경험자료DB구축이 무엇보다도 시급한 실정이다. 운용중인 무기체계의 경험자료는 경제적이고 효율적인 무기체계의 운용과 부족한 해외DB 적용에 따른 RAM예측값과 실제RAM값간의 차이를 검증할 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 경험자료DB구축을 위하여 야전운용제원(Field data)을 활용한 해군함정의 RAM수행사례를 제시하고자 한다. 본 연구에서는 해군함정 야전운용제원분석의 제한요소인 고장정보부재에 따른 분석의 한계를 극복하기 위하여 부품소모실적을 이용한 고장추적프로세스를 정립함으로써 RAM분석을 가능하게 하였고 실제 장비운용자들의 검토결과 현실과 상당히 부합하는 분석결과가 도출된 것으로 확인되었다[6].

우리나라가 세계 7위의 수출대국으로 성장하였고 방산분야 수출액 또한 지난해 24억 달러를 달성하면서 수

출산업으로 성장하였으며 올해에는 30억 달러의 방산 수출을 목표로 하고 있다[7]. 특히 지난해 수출액의 45.3%가 해군용 함정 및 주요 탑재무기체계였고[8] 지난 3월에는 조선의 원조국인 영국에 군수지원함을 수출하게 됨으로써 우리나라의 군함건조수준을 세계에 과시하게 되었으나[9] 군수지원분야, 특히 신뢰성분야에 있어서는 상대적으로 그 수준의 격차가 큰 것이 현실이다.

본 연구를 통하여 해군함정에 대한 본 야전운용제원 분석의 결과가 시초가 되어 해군의 전 함정에 대한 야전운용제원분석이 이루어지고 DB화가 이루어진다면 그 파급효과는 단순히 정비의 효율화에 그치지 않고 향후 함정건조 시 설계기준을 제시할 뿐만 아니라 군함의 해외수출시 한국에서 건조된 군함의 신뢰성을 증명해 줄 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. RAM분석

RAM분석은 다음의 평가척도를 분석한다[2].

표 1. RAM 분석구분 및 평가척도

구분	평가척도
신뢰도	고장간평균시간(MTBF),정비간평균시간(MTBM) 등
정비도	평균수리시간(MTTR), 정비율(MR), 평균비동적시간(MDT) 등
가용도	고유가용도(Ai), 운용가용도(Ao) 등

상기 평가지표 중 본 연구에서는 가장 대표적인 평가 지표위주로 분석을 실시하였다. 신뢰도의 평가지표로는 MTBF와 MTBM을, 정비도의 평가지표로는 MTTR을, 가용도의 평가지표로는 고유 및 운용가용도를 분석하였으며 기타 평가지표에 대한 분석은 후속 연구를 통하여 상세화할 계획이다.

1. 신뢰도

신뢰도는 아이템이 주어진 조건 하에서 규정된 기간 동안 요구되는 기능을 수행할 수 있는 확률을 의미하고 대표적 평가척도는 고장간 평균시간(Mean Time

Between Failure: MTBF) 등이다[2]. 함정 및 탑재장비는 고장이 발생하였을 때 고장이 난 부분의 수리나 교체를 통하여 운용가능하게 하는 수리가능 시스템(Repairable System)으로 고장간 평균시간을 산출하여 신뢰도를 측정할 수 있다. 고장간 평균시간은 고장발생률(Rate of Occurrence of Failures : ROCOF)이 일정한 동질포아송프로세스(Homogeneous Poisson Process : HPP) 및 고장발생률이 일정하지 않은 비동질포아송프로세스(Non-homogeneous Poisson Process : NHPP)를 가정하여 산출할 수 있다.

MTBF는 HPP와 NHPP를 검정하는 Laplace Test를 통하여 HPP일 경우 수식(1)과 같이[10], NHPP일 경우 수식(2)와 같이[11] 산출된다.

$$MTBF = \frac{T}{N} = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

where T =total operating time,

N =the number of failures

$$MTBF = \int_0^{\infty} \exp\left(-\int_{t_0}^{t_0+t} \lambda(u) du\right) dt \quad (2)$$

where $\lambda(u)$ =ROCOF

2. 정비도

정비도는 규정된 정비 및 수리수준에서 규정된 기술수준을 지닌 정비요원이 규정된 절차와 자원을 이용하여 정비를 수행할 때 아이템이 규정된 상태로 유지되거나 복구되는 능력을 의미[2]하고 대표적 평가척도는 평균정비시간(Mean Time to Repair : MTTR)과 정비간 평균시간(Mean Time Between Maintenance : MTBM) 등이다.

평균정비시간(MTTR)은 각각의 정비활동이 독립이며 정비율(Repair rate)이 일정한 지수분포를 가정한다면 수식(3)과 같이[10] 산출된다.

$$MTTR = \overline{M_{ct}} = \frac{\sum M_{ct_i}}{N} \quad (3)$$

where M_{ct_i} = repair time for an individual corrective maintenance,

N =the number of corrective maintenance

정비간 평균시간은 수식(4)와 같이 정비활동 사이의 평균 시간으로 정의된다[12]. 여기서 정비활동은 계획정비활동(Preventive Maintenance Actions) 및 비계획정비활동을 포함한다.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_{ct}} + \frac{1}{MTBM_{pt}}} \quad (4)$$

where $\frac{1}{MTBM_{ct}}$ =mean time between corrective maintenance,

$\frac{1}{MTBM_{pt}}$ =mean time between preventive maintenance

3. 가용도

가용도는 임의의 시점에서 임무를 시작하고자 할 때 아이템이 작동가능상태에 있어 즉각적인 임무수행이 가능한 정도를 의미하고 대표적 평가척도는 고유가용도(A_i : Inherent availability), 운용가용도(A_o : Operational availability) 등이며 고유가용도와 운용가용도는 수식(5,6)과 같이 산출된다[2].

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (5)$$

$$A_o = \frac{Up Time}{Up Time + Down Time} \quad (6)$$



그림 1. 시간분류

III. 함정 RAM분석의 제한사항 및 특징

해군 함정은 육군의 전차와 공군의 항공기와는 달리 수백 개의 무기체계가 함정플랫폼에 탑재되고 유기적으로 연동되는 복합무기체계로서 야전운용제원분석에

있어 육·공군의 장비와는 달리 분석에 많은 제한사항과 특징이 존재한다.

주요 제한사항 몇 가지를 소개하면 다음과 같다.

첫째, 가장 큰 제한사항은 분석데이터가 매우 부족하다. 해군의 장비정비정보체계(DELIS/N)의 DB를 보면 RAM분석의 기본 자료인 고장정보가 전무한 실정이다.

둘째, 입력데이터의 오류 또는 결측(Missing)이 많다는 것이다. 이는 미국, 영국과 같은 선진국의 야전운용제원분석에 있어서의 공통된 주요 문제점 중의 하나이다.

셋째, 우리나라의 경우 동해와 서해의 작전환경이 다르기 때문에 함정 및 탑재장비의 운용형태에 큰 차이가 있어 특정 함정(Sample)의 야전운용제원분석결과가 동형함정의 평균값을 대표하기 어렵기 때문에 전 함정을 대상으로 야전운용제원분석을 실시해야하는 필요성이 제기된다.

이상 세 가지의 주요 제한사항 외에도 업체에 의한 정비인 외주정비와 점점 비중이 증가하고 있는 S/W에 대한 정비데이터가 부족한 실정이다. 다행히 외주정비 데이터는 군의 정보시스템에 수록이 되는 방향으로 추진 중에 있으나 S/W에 대한 고려는 아직까지 이루어지지 않고 있다.

그 이유로 '규정된 환경 하에서 주어진 시간에 S/W를 결함없이 운영할 수 있는 확률'로 정의[13][14]되는 S/W신뢰성관리는 에러방지, 오류탐지와 제거 그리고 자원, 일정, 성능과 같은 제한사항에 중점[15]을 두는 개발단계의 활동이 많고 환경영향이나 마모에 의해 결함이 발생되지 않는 특성[16] 때문인 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 부품소비실적을 활용한 고장 추적프로세스를 새로이 정립하여 고장정보를 추정하고 오류 및 결측 데이터의 보완을 위하여 함정운용자들에 대한 서베이를 실시하였으며 동형의 전함정을 대상으로 분석을 실시함으로써 분석결과와 일반화 가능성을 높이도록 노력하였다. 그러나 외주정비 및 S/W에 대해서는 본 연구에서는 고려할 수 없었다.

함정 RAM분석은 육군의 전차나 공군의 항공기와 같은 단일 무기체계는 분석방법을 달리하여야 한다.

함정 RAM분석의 특징으로 복합무기체계인 함정의 특성상 함차원의 고장과 탑재장비차원의 고장을 구분

하여야 할 필요가 있다. 왜냐하면 특정 탑재장비가 고장으로 기능을 전부 또는 일부 상실한다고 하더라도 함정차원에서는 임무를 계속 수행할 수 있기 때문이다.

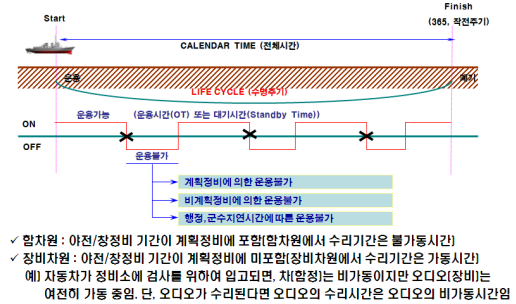


그림 2. 함차원 vs 장비차원 분석의 구분

IV. 데이터 수집 및 정제절차

1. 분석자료현황

분석자료는 해군장비정비정보체계(DELIS/N)를 통하여 획득된 함정 및 탑재장비의 운용 및 정비자료를 근간으로 하였지만 야전운용제원분석에 있어 핵심이 되는 운용정보의 부족과 고장정보의 부재로 수리부속의 소요도, 정비소요시간 등 부품특성정보는 함정운용자에 대한 서베이결과를 활용하였고 운용정보 추적 및 검증은 위해서는 작전운용결과보고서를 활용하였다.

표 2. 분석자료

수집대상기간	2006 ~ 2011 (6년)
분석대상함정	전투함 9척
운용자료	DELIS/N DB, 함정운용자 자문자료, 작전운용 경과보고서
부대정비자료	DELIS/N DB, 함정운용자 자문자료
야전/창 정비자료	DELIS/N DB, 함정운용자 자문자료

장비정비정보체계는 무기체계의 주장비를 중심으로 수리부속 및 공구의 보급 및 정비관련 사항을 관리하는 정보체계로 육·해·공군의 편성부대로부터 국방부에 이르기까지 정비관련 부서에서 사용하는 통합정비지원 시스템이다[17]. 해군의 경우 함정에서 이루어지는 부

대정비와 정비부대에서 이루어지는 야전/장정비에 대한 정비현황자료가 이 체계에 입력되어 DB화되고 정비에 필요한 수리부속의 수불업무 또한 이 체계에서 이루어지고 있다.

현재 국방부에서는 육·해·공군별로 각각 운용되는 장비정비정보체계를 통합하고 고도화하는 군수종합정보체계의 개발을 위한 개념연구를 수행중이다.

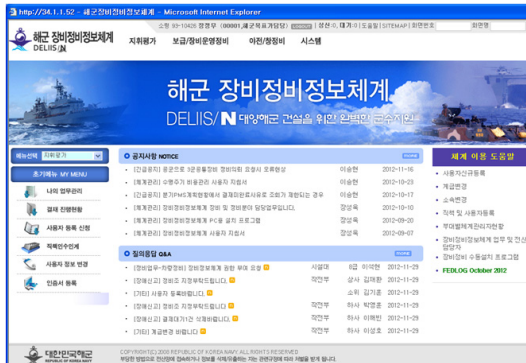


그림 3. 해군 장비정비정보체계 초기화면

2. 운용자료

함정 및 탑재장비의 야전운용제원을 이용한 RAM분석을 위해서는 함정 및 탑재장비의 운용시간정보가 필요하다. 하지만 DELIIS/N에서는 주추진기관인 디젤엔진(D/E)과 가스터빈(G/T)의 운용시간만이 존재하고 주추진기관을 제외한 탑재장비의 운용시간에 대한 정보가 부재하다.

따라서 함정 및 탑재장비의 운용시간을 구하기 위하여 함정의 운용시간은 주추진기관의 운전시간과 동일하다고 가정하였고 탑재장비의 운용시간은 주추진기관의 운전시간(함정운전시간, 항해시간) 대비 상대적 운용비율을 함정운용요원의 자문을 받아 도출하였다.

함정 운용시간에 대한 검증은 위하여 특정 함정을 선정하고 DELIIS/N상의 주기운용시간과 작전운용경과보고서상의 함정운용시간에 대한 비교검증을 수행한 결과 2006년은 운용시간의 차이가 14%에 달하였으나 2007~2009년은 운용시간의 차이가 1.7~4.1%에 불과함에 따라 DELIIS/N상의 주기운용시간을 함정운용시간으로 사용가능한 것으로 판단되었다.

표 3. 함정운용시간의 산출 및 검증

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010
DELIIS/N 주기운전시간		3,745	2,951	2,633	3,035	2,730
작전운용 경과보고	출동	1,808	2,490	2,297	1,838	2,164
	훈련	383	787	691	848	843
	기타	10	10	14	61	94
	합계	2,201	3,287	3,002	2,747	3,101

함정의 운용시간은 DELIIS/N 및 문서상으로 추정이 가능한 자료가 존재하나 함정내 탑재되어 있는 수백개의 장비에 대한 운용시간은 자료가 존재하지 않음에 따라 함정장비의 운용과 정비를 담당하는 운용요원에게 함정운용시간 대비 장비별 운용비율을 추정토록 하였다. 추정의 과정에 있어 가능한 정확성의 제고를 위하여 함정의 대표 운용모드인 출동, 훈련, 기타(지원 등)로 구분하여 함정운용시간 24시간을 기준으로 해당장비가 운용모드별로 몇시간이나 운용이 될 것인지를 추정토록 하였으며 추정된 운용모드별 장비운용시간은 운용모드별 가중치를 적용하여 최종 장비의 운용시간으로 계산하였다.

표 4. 장비별 운용비용 산출

장비명	출동시	훈련시	검열시	기타
함정운용기준시간	24시간	24시간	24시간	24시간
주추진 MTU	20	20	20	20
주추진 가스터빈	4	4	4	4
감속기어	24	24	24	24
탐조등	1	1	1	0

계산된 장비의 운용시간을 적용한 신뢰도값(MTBF)은 장비의 실제 작동시간만을 고려한다는 의미이다. 즉 장비가 작동되지 않고 대기하는 시간은 고려하지 않는다. 예를 들어 탐조등의 경우 출동 24시간 중 1시간만을 운용하고 23시간은 대기하는 것으로 추정되었다. 하지만 미해군운용가용도핸드북에 따르면 탐조등처럼 간헐적으로 운용되는 장비인 경우에는 대기시간을 운용시간에 포함하도록 제시하고 있다. 즉 장비의 신뢰도값은 함정운용시간을 기준으로 산정하는 것이 적절하다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 탑재장비의 신뢰도값을 함정운

용시간기준 및 장비작동시간기준 모두를 산출하였다. 왜냐하면 합정운용시간을 기준으로 한 신뢰도값은 합정 운용자에게, 장비작동시간만을 고려한 신뢰도값은 장비 개발자에게 유용하게 활용될 지표이기 때문이다.

3. 정비자료

전술한 바와 같이 RAM분석에 있어 고장정비자료가 필요하나 합정의 경우 언제 장비고장이 발생되었고 어떻게 고장정비가 실시되었는지에 대한 데이터가 부재함에 따라 고장 및 고장정비 실적을 추정하는 프로세스를 새로이 정립하고 추정된 고장 및 고장정비 실적을 기반으로 합정에 대한 RAM분석을 수행하였다.

합정 고장 및 고장정비 실적의 추정을 위한 기본개념은 합정 또는 정비부대에서 소비된 특정 수리부속은 합정 또는 장비의 고장에 따라 교체가 되었을 것이라는 가정에서 출발한다.

이 고장추적방법의 장점은 다음과 같다.

첫째, DELIIS/N상 부대별 보급 및 자산관리를 위하여 수리부속 수물 및 소비에 대한 정보는 상당히 정확히 기록되어 왔기 때문에 그 어떤 자료보다 데이터 정확도가 높다.

둘째, 수리부속이 소비된 부대 및 시점이 확인됨에 따라 합정의 운용기간 중의 고장인지 정비기간 중의 고장인지와 언제(소비시점) 고장이 발생되었는지를 확인할 수 있다.

셋째, 해당 수리부속이 소모된 부대정비와 야전정비의 정비실적자료와 매핑이 가능함에 따라 고장정비건별 투입된 수리부속의 수량과 정비소요시간을 계산할 수 있다.

그러나 장비의 고장을 수리부속의 소비를 추적하는 방법에는 단점 또한 존재한다.

첫째, 중요 수리부속의 소비를 고장으로 판단함에 따라 고장이 과대 판단될 수 있다. 즉 합정운용요원 또는 야전정비요원의 판단에 따라 예방차원(또는 주기적 교환)으로 수리부속을 교체한 실적이 모두 고장 건으로 집계되기 때문이다.

둘째, 수리부속 특성의 분류에 있어 오류가 존재할 수 있다. 본 연구에서는 수리부속의 건요도[합정차원

또는 장비차원의 고장, 고장의 임무영향도(F1;임무불가, F2;임무영향, F3;임무무관)]를 합정운용자의 주관적인 판단에 의존하였기 때문이다.

셋째, 전술한 바와 같이 외주정비의 경우와 수리부속이 소비되지 않는 S/W 등의 고장은 고장건으로 식별되지 않음에 따라 고장이 과소 판단될 수 있다.

이러한 문제점은 향후 추가적인 연구를 통하여 보완해 나가기 할 것이다.

지금부터 본 연구에서 수행한 고장 및 고장정비를 추적하는 프로세스에 대하여 설명한다.

4. 고장분류 프로세스

본 연구에서 고장 및 고장정비를 추적하기위한 분류 프로세스는 [그림 4]와 같다.

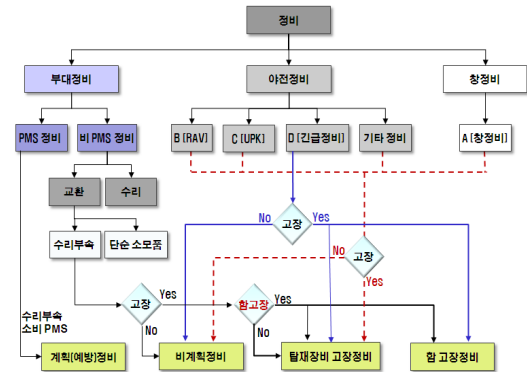


그림 4. 합정 고장 및 고장정비 분류 프로세스

합정에 대한 고장분류프로세스는 정비계단에 따른 자료의 가용성과 복합무기체계인 합정의 고장분류 특성에 따라 구성되었다.

해군의 정비는 부대정비, 야전정비, 창정비의 3계단 정비로 운용이 된다. 모든 정비는 이 3계단 내에서 이루어지며 각 계단별로 정비자료의 입력 및 저장내용이 다르기 때문에 정비자료의 형태에 따라 분류 프로세스를 구성할 수밖에 없었다. 그리고 복합무기체계인 합정의 특성상 합차원의 고장과 탐재정비차원의 고장을 구분하였다.

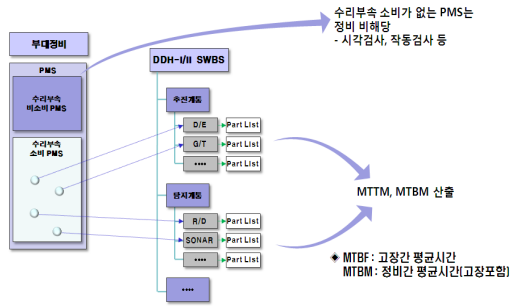


그림 5. PMS정비 분류프로세스

먼저 부대정비의 고장분류프로세스는 [그림 5][그림 6]과 같다. 부대정비는 PMS(Planned Maintenance System)정비와 비PMS정비로 구분된다. PMS는 시각 검사, 작동검사 등 단순한 검사가 많고 단순한 검사는 장비의 가동에 영향을 미친다고 볼 수 없기 때문에 수리부속이 소모되는 PMS만을 정비로 간주하였고 해당 PMS는 모두 고장이 아닌 예방정비로 간주하였다.

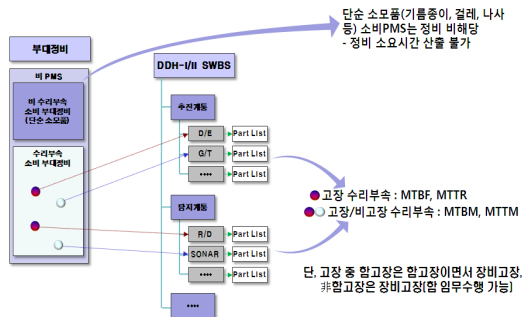


그림 6. 비PMS정비 분류프로세스

비PMS정비는 PMS외에 부대에서 이루어진 정비로 별도의 정비기록이 없고 자산관리를 위한 ‘자재소비기록’만이 존재하기 때문에 수리부속이 소비되지 않은 정비는 식별이 불가능하였다. 수리부속이 소비된 정비에서도 기름종이, 걸레, 나사 등 정비 간 단순히 소모되는 수리부속의 소모는 장비의 가동에 영향을 미친다고 볼 수 없기 때문에 제외하였다. 정제과정을 거친 정비 건은 수리부속의 특성(긴요도)에 따라 고장으로 판단된 정비는 고장정비로, 정비가 실시되진 하였으나 고장으로 볼 수 없는 정비는 비계획정비로 구분하였다.

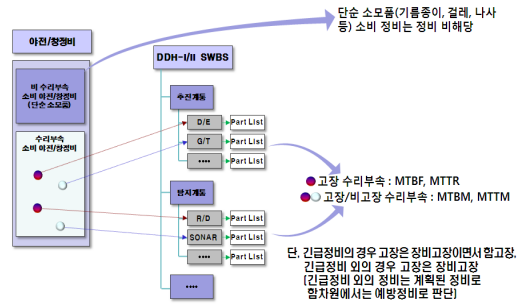


그림 7. 야전/창정비 분류프로세스

다음으로 야전/창정비의 고장분류프로세스는 [그림 7]과 같다. 야전/창정비는 RAV(Restricted Availability, 임시수리), UPK(Up-Keep, 자채수리), 긴급정비, 기타 (포배열, 상가 등)정비 그리고 창정비로 구분된다.

정비개념상 긴급정비(DELIS/N상 장비고장보고와 는 별도 관리)는 함정의 고장에 의하여 야전에서 이루어진 정비이나 RAV나 창정비 등은 함정의 계획된 일정에 따른 정비로 함정차원에서는 고장으로 볼 수 없다고 판단하였다. 그러나 야전/창정비기간 중 이루어진 정비가 함차원에서는 예방정비이지만 장비차원에서는 고장정비로 볼 수 있다.

예를 들어 자동차(함정)가 정비공장(야전/창)에 입고된 경우 자동차는 임무(주행)를 수행할 수 없지만 자동차에 장착된 오디오(탑재장비)는 임무를 수행할 수 있는 대기상태이기 때문이다. 만일 입고기간 중 오디오의 고장이 식별되어 정비가 이루어 졌다면 그 오디오는 고장정비가 실시되었다고 볼 수 있다.

또한 긴급정비기간 중의 정비 건을 모두 함정고장으로 판단하지는 않았다. 왜냐하면 특정 탑재장비의 고장으로 인하여 긴급정비가 이루어 졌지만 긴급정비기간을 이용하여 비고장정비가 이루어 졌을 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 위의 분류개념에 따라 긴급정비의 경우 정비간 소모된 수리부속의 특성에 따라 비고장정비, 장비차원의 고장정비, 함차원의 고장정비로 분류하였고, 긴급정비 외의 정비의 경우 정비간 소모된 수리부속의 특성에 따라 비고장정비, 장비차원의 고장정비로 분류하였다.

4. 군수지연시간자료

무기체계의 RAM분석에 있어 군수지연시간은 장비의 가용도에 결정적인 영향을 미친다. 장비의 고장이 자주 발생한다고 하더라도 즉시 정비가 이루어진다면 해당 장비는 가용도가 높게 산출될 것이나 고장이 드물게 발생하더라도 정비에 오랜 시간이 소요된다면 가용도는 낮게 산출될 것이기 때문이다.

장비운용자들 대다수는 정비에 소요되는 시간의 대부분이 수리부속의 확보에 소요되는 시간이라고 주장한다. 이는 함정별 정비도 분석결과 평균정비시간(MTTR: Mean Time To Repair)이 3시간에 불과한 결과를 통하여 증명이 된다. 타군의 사례에서도 최신예 F-15K도 성과기반군수(PBL: Performance Based Logistics)계약을 체결하기 전에는 부품부족에 따라 평균 정비대기시간이 50일에 달하며 이에 따른 가용도 저하에 대해 보도된 바가 있다[18]. 정비대기시간(수리부속 확보시간)의 문제는 많은 해외도입장비가 탑재된 함정의 경우에도 동일한 현상을 피할 수 없을 것이다.

물론 정비대기시간에는 함정의 이동시간, 정비시설 및 인원의 준비시간, 정비를 위한 탈부착 필요시 탈부착시간 등이 포함되어야 하지만 본 연구에서는 수리부속 확보시간이 정비대기시간의 대부분을 차지한다고 판단하여 수리부속확보시간만을 군수지연시간으로 고려하였다.

본 연구에서 군수지연시간을 산출한 개념은 부대정비의 경우 함정에 적재된 수리부속(COSAL : Coordinated Ship Allowance List)의 경우에는 최소의 군수지연시간(30분)을 부여하고 함정에 적대되지 않은 수리부속이 소비되었다면 해당 수리부속의 수불실적을 추적하여 청구에서 함정수령까지 소요된 시간을 계산하여 해당정비의 군수지연시간으로 계산하였다.

야전/창정비의 경우에도 정비창에서 다빈도 수요품목으로 지정하여 재고를 관리중인 선정품목의 경우에는 동일하게 최소의 군수지연시간(30분)을 부여하고 선정품목외의 수리부속이 소비되었다면 해당 수리부속의 수불실적을 추적하여 청구에서 정비창수령까지 소요된 시간을 계산하여 해당정비의 군수지연시간으로 계산하였다.

수리부속소모가 이루어졌으나 수불기록이 없는 경우에는 부대정비소비품목 및 야전/창정비소비품목의 평균 군수지연시간을 적용하였다.

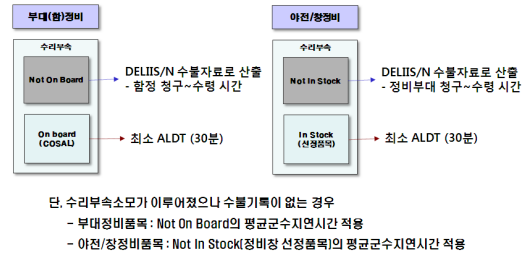


그림 8. 군수지연시간 산출

V. 데이터 수집, 정제, 및 분석 결과

1. 운용현황

함정 운용현황은 2006년 1월 1일부터 2011년 12월 31일까지의 운용현황을 수집하여 분석하였다. G함, H함, I함의 경우 전력화기시가 2006년 1월 1일 이후이기 때문에 운용시간이 타 함정에 비하여 차이가 있다.

표 5. 함정운용 현황분석 결과

함형	운용시작	운용종료	총시간	운용시간	대기시간	Down time
A	' 06.1월	' 11.12월	52,584	18,154	1,731	32,699
B	"	"	52,584	20,080	5,937	26,567
C	"	"	52,584	4,897	21,322	16,365
D	"	"	52,584	18,820	23,322	10,442
E	"	"	52,584	19,679	17,614	15,291
F	"	"	52,584	18,717	17,058	16,809
G	' 06.11월	"	45,288	16,177	19,495	9,616
H	' 07.10월	"	37,272	13,569	15,123	8,580
I	' 08.9월	"	29,208	2,368	9,865	6,975

함정의 운용시간은 주추진기관의 운용시간을 사용하였고 타당성 검증을 실시하였기 때문에 운용시간에는 오류가 없는 것으로 판단되나 Downtime(비가동시간)과 대기시간의 경우 A함과 B함의 경우 수용이 불가능한 이상값이 도출되었다. 이에 대한 원인분석을 실시한 결과 두 함정의 경우 통상적으로 수일에서 수주에 불과

한 긴급정비가 3~6개월로 입력된 입력오류건이 다수 발견되었으나 개별 긴급정비 건별 정확성여부를 확인하는 것은 본 연구에서는 어려웠기 때문에 개별 긴급정비의 정비기간을 보정할 수 없었다. 하지만 두 함정을 제외한 기타 함정에서는 위와 같은 오류데이터가 발견되지 않아 함정 운용자료로 활용이 가능한 것으로 판단되었다.

2. 정비현황

함정 정비현황 분석을 위해서는 DELIIS/N의 기초자료에 대한 정제가 선행되어야 한다. 분석에 사용된 기초자료와 자료의 정제결과는 [표 6]과 같다.

표 6. 함정 정비현황 자료의 정제

함명	공사명령서 (야전/창)	PMS (부대)	자재소비실적					
			야전/창정비		PMS정비		비PMS정비	
			전체	정제	전체	정제	전체	정제
A	19,567	51,545	10,491	5,052	712	506	16,861	7,606
B	14,572	72,122	7,086	3,785	562	508	13,419	6,622
C	10,371	50,647	4,755	4,355	1458	1,325	9,786	2,855
D	12,322	51,800	7,558	6,453	548	516	5,477	3,661
E	9,658	48,998	6,476	6,353	515	402	5,255	4,357
F	9,707	46,438	6,542	6,333	258	233	4,730	4,395
G	13,762	40,189	8,641	3,662	363	355	4,349	1,989
H	6,474	42,701	4,816	3,759	445	420	1,680	1,234
I	3,605	45,371	2,175	2,155	1799	1,259	2,083	363
계	100,038	449,811	58,540	41,907	6,660	5,524	63,640	33,082

분석에 사용된 자료는 야전/창에서 이루어진 정비내용을 파악할 수 있는 공사명령서, 부대(함정)에서 예방정비를 실시한 PMS보고서 그리고 PMS, 비PMS, 야전/창정비간 해당 함정의 정비에 소비된 자재소비실적이다. 비PMS의 경우 자재소비보고는 있지만 그에 해당되는 정비내용에 대한 기록이 없어 이는 함정운용자를 대상으로 실시한 서베이자료를 활용하였다.

공사명령서와 PMS항목은 분석대상 함정의 전력화 이후 2011.12.31까지 야전/창정비 기간에 발생한 공사명령서의 전체 건수와 함정에서 실시한 PMS의 건수로 각 100,038건과 449,811건이 발생되었고 분석에 활용되었다.

자재소비실적 항목은 야전/창정비에서 발생한 자재소비실적과 부대에서 PMS를 통한 예방정비 및 PMS의

에서 발생한 비PMS정비에 소비된 자재소비실적으로 구분된다.

먼저 야전/창정비에서 발생한 자재소비실적은 분석대상 함정의 전력화이후 2011.12.31까지 야전/창에서 발생한 전체 자재소비보고건수로 58,540건이 발생되었다. 이중 분석대상기간에 발생한 자재소비보고만을 1차로 추출하고 추출된 자재소비보고의 공사명령서와 실제 공사명령서번호 간 일치여부 확인을 통해 자재소비보고를 2차로 제거한 결과 최종 41,907건의 자재소비보고가 분석의 대상으로 정제되었다.

다음으로 PMS정비에서 발생한 자재소비실적은 함정의 전력화이후 2011.12.31까지 함정에서 발생한 전체 PMS정비에서 발생한 자재소비보고 건수로 6,660건이 발생되었다. 이중 분석대상기간에 발생한 자재소비보고만을 추출한 결과 최종 5,524건의 자재소비보고가 분석의 대상으로 정제되었다.

마지막으로 비PMS부대정비의 자재소비보고는 함정의 전력화이후 2011.12.31까지 함정에서 발생한 전체 자재소비보고건수로 63,640건이 발생되었다. 이중 분석대상기간에 발생한 자재소비보고만을 1차로 추출하고 추출된 자재소비보고서 중 완결이 되지 않은 자재소비보고를 2차로 제거한 결과 최종 33,082건의 자재소비보고가 분석의 대상으로 정제되었다.

표 7. 함정 정비현황 분석결과

함명	부대정비									야전/창 정비								
	소비실적			정비해당			고장판단			정비건수			소비실적		고장판단		정비건수	
	PMS	비PMS	고장	PMS	비PMS	고장	PMS	비PMS	고장	소비	정비	고장	정비	고장	정비	고장		
A	906	7,606	506	1,948	-	1,272	269	991	517	5,052	2,367	2,180	463	403				
B	508	6,622	508	1,803	-	933	259	1,137	481	3,785	1,409	1,279	404	369				
C	1,325	2,855	1,325	918	-	510	570	649	329	4,355	2,170	2,016	517	480				
D	516	3,661	516	2,145	-	1,540	245	1,028	561	6,453	3,765	3,634	735	713				
E	402	4,357	402	2,207	-	1,590	185	973	512	6,353	3,863	3,754	727	701				
F	233	4,395	233	2,105	-	1,318	83	1,004	468	6,333	3,966	3,826	737	713				
G	355	1,989	355	877	-	488	255	514	218	3,662	2,423	2,335	485	476				
H	420	1,234	420	206	-	326	182	302	146	3,759	2,439	2,347	444	422				
I	1,259	363	1,259	118	-	76	489	64	34	2,155	1,099	1,060	240	234				
계	5,524	33,082	5,524	12,327	-	8,053	2,537	6,662	3,266	41,907	23,501	22,431	4,752	4,511				

1차 정제를 거친 정비현황 분석자료를 대상으로 분석된 함정 정비현황은 [표 7]과 같다. 함정의 정비는 부대 또는 야전/창에서 이루어지고 부대정비는 PMS정비와 비PMS정비로 다시 나눌 수 있다.

전술한 바와 같이 DELIIS/N에는 함정 및 탑재장비의 고장정보가 존재하지 않는다. 따라서 함정 및 탑재장비의 고장을 추적하기위한 방안으로 함정 및 탑재장비의 정비실적과 정비에 소비된 수리부속을 [표 6]과 같이 추출한 후 수리부속의 특성을 함정운용자에게 서베이하여 확인된 수리부속의 특성(고장에 따른 교체 또는 교체는 되었으나 단순 소모품으로 고장은 아님)에 따라 고장을 추적하였다.

부대정비 중 PMS에 대한 분석결과를 보면 분석대상기간 중 5,524건의 자재소비보고가 발생되었다. PMS는 사전에 계획된 예방정비로써 PMS간 수리부속이 소비되지 않는 PMS는 단순 검사로 장비의 작동에 영향을 미치지 않는 것으로 판단하였고 수리부속이 소비된 PMS는 장비의 작동을 멈춘 후 시행되는 정비행위로 판단하였다. 따라서 5,524건의 자재소비는 정비에 해당되는 자재소비이며 이 자재소비가 이루어진 PMS를 추적한 결과 2,537건의 정비가 이루어 졌다고 판단할 수 있었다.

비PMS에 대한 분석결과를 보면 분석대상기간 중 33,082건의 자재소비가 발생되었고 부품의 특성을 기준으로 판단한 결과 단순 소모품(기름종이, 걸레, 나사 등)의 소모는 정비에 해당하지 않는 것으로 판단하여 제외한 결과 12,327건의 자재소비가 정비에 의한 자재소비로 정제되었고 이중 8,053건의 자재소비는 장비고장에 의한 수리부속소비로 최종 판단되었다. 이를 자재소비보고의 작업번호와 매핑한 결과 함정에서 비PMS 정비는 총 6,662건이 실시되었고 이중 3,266건은 고장에 의한 정비가 이루어졌다고 판단할 수 있었다.

야전/창정비시에도 분석대상기간 중 41,907건의 자재소비가 발생되었고 부품의 특성을 기준으로 판단한 결과 23,501건의 자재소비가 정비에 의한 자재소비로 정제되었고 이중 22,431건의 자재소비는 장비고장에 의한 수리부속소비로 최종 판단되었다. 이를 자재소비보고의 공사명령서번호와 매핑한 결과 야전/창에서 실시한

정비는 총 4,752건이 실시되었고 이중 4,511건은 고장에 의한 야전/창정비가 이루어졌다고 판단할 수 있었다.

이상 7,777의 장비고장 중 함정차원의 고장만을 분류하면 1,316건의 고장이 발생된 것으로 판단되었고 함별 현황은 [표 8]과 같다.

표 8. 함차원 고장(단위:건)

함명	비PMS 고장정비	야전/창 고장정비	고장정비계
A	134	22	156
B	173	12	185
C	89	5	94
D	216	13	229
E	215	28	243
F	183	11	194
G	88	15	103
H	72	9	81
I	23	8	31
평균	132	14	146

함정차원고장건수를 보면 동형의 함정인 A~C에서 A함과 B함은 고장수가 많은 반면 후속함인 C함의 경우 고장건수가 상대적으로 적었고 D~I에서는 D함과 E함은 고장건수가 많은 반면 후속함인 F함은 고장건수가 적었다. G함, H함, I함 또한 운용시작 시기가 타함정에 비하여 늦은 이유가 있지만 운용시간에 비례해서보면 초기 건조함정보다는 고장건수가 적음을 알 수 있다.

여기서 주목할 점은 함차원 고장의 91%가 부대정비 단계에서 정비가 이루어 졌다는 점이다. 무기체계가 첨단화되면서 장비의 수리행위가 부품 또는 모듈단위의 교체가 정비의 주류를 이루게 되고 장비 원 제작사에 정비를 의뢰하는 외주정비가 늘어나게 되면서 야전/창 정비단계에서의 고장정비를 수행하는 비율이 매우 낮아진 것으로 판단된다.

[표 7]의 장비차원의 고장정비건수를 고장영향도 측면에서 분류하면 [표 9]와 같다.

표 9. 장비차원 고장(단위:건)

함명	고장정비 회수	F1(임무불가)		F2(임무저하)		F3(임무무관)	
		회수	비율	회수	비율	회수	비율
A	920	116	12.6%	218	23.7%	586	63.7%
B	850	138	16.2%	223	26.2%	489	57.5%
C	809	93	11.5%	209	25.8%	507	62.7%
D	1274	236	18.5%	183	14.4%	855	67.1%
E	1213	220	18.1%	203	16.7%	790	65.1%
F	1181	191	16.2%	161	13.6%	829	70.2%
G	694	107	15.4%	94	13.5%	493	71.0%
H	568	97	17.1%	81	14.3%	390	68.7%
I	268	43	16.0%	49	18.3%	176	65.7%
평균	864	138	15.7%	158	18.5%	568	65.7%

고장의 영향도를 보면 F1(임무불가)고장의 비율은 D~I함(평균 17%)이 A~C함(평균 13%)에 비하여 높은 반면 F2(임무저하)고장의 비율은 D~I함(평균 15%)가 A~C함(평균 25%)에 비하여 낮게 나타났고 F3(임무무관)고장 비율은 D~I함(평균 68%)가 A~C함(평균 61%)에 비하여 높게 나타나 A~C함의 고장치명도가 다소 높은 것으로 판단된다.

또한 동형함정인 D~I함의 고장빈도 상위 10종 장비의 고장횟수 및 정비소요시간을 추출하면 [표 10]과 같다.

표 10. 고장빈도 상위 10종 장비(D~I함)

장비명	고장회수	정비시간
발전기	693	8,148
주추진MTU	287	1,595
역삼투조수기	283	980
공기압축기(고압)	263	1,509
공기압축기(중압)	145	763
오수처리장치	125	425
소화펌프	92	432
감속기어	87	361
보조보일러	85	223
냉난방장치	84	361

3. 군수지연시간

군수지연시간은 DELIIS/N 수불D/B상 2010.1월부터 2011.12월까지 함정 또는 야전/창정비 부대에서 수리부속의 청구에서 수령까지의 소요시간을 계산한 결과를

적용하였다.

표 11. 군수지연시간 분석결과

부대	수리부속 수불건수	지연시간(일)
A함	740	2,280
B함	647	5,555
C함	1,020	7,039
D함	1,077	6,231
E함	1,309	12,113
F함	1,463	17,152
G함	1,169	8,974
H함	1,615	16,703
I함	1,328	10,521
J야전정비	3,413	4,828
K야전정비	5,575	34,960
I창정비	56,750	253,147
계	76,106	379,501(건당 5.1일)

RAM분석 시에는 정비에 소비된 수리부속의 품목별 평균 군수지연시간이 사용되었고 정비에 소비된 수리부속의 품목이 다수일 경우에는 소비된 수리부속 중 가장 긴 군수지연시간 1건만을 적용함으로써 군수지연시간이 중복 계산되는 것을 방지하였다.

VI. 분석결과

1. 신뢰도

함차원의 신뢰도(MTBF) 분석결과는 [그림 9]와 같다.

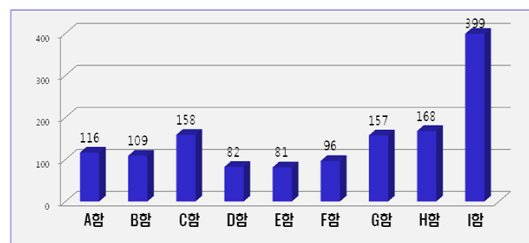


그림 9. 함차원 신뢰도(MTBF) 분석 결과

A~C함(평균 MTBF:128hr)과 D~I함[평균 MTBF:117hr-I함 제외(I함은 타 함정대비 운용기간이 1/2에 불

과)]의 MTBF값은 유사하게 산출되었다. 주목할 점은 함형별 후속함인 C함, G함, H함, I함의 MTBF값이 높게 산출되었다. 이는 함정의 전력화평가를 통하여 발견된 선도함의 보완사항이 후속함 건조시 조치되도록 규정[19]되어 있기 때문에 후속함의 신뢰도가 높아지는 것으로 판단된다.

함정의 MTBF값은 단일무기체계인 육군 000의 임무 신뢰도(MTBCF) 39.1시간[20]과 비교시 A~C함은 3.27배, D~I함은 2.99배가 높은 MTBF값을 보이고 있다. 복합무기체계인 함정의 복잡성을 고려할 때 도출된 신뢰도값은 매우 높은 것으로 판단된다.

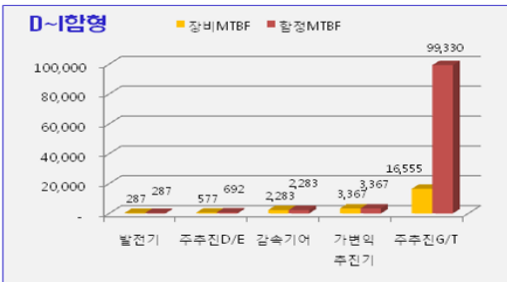
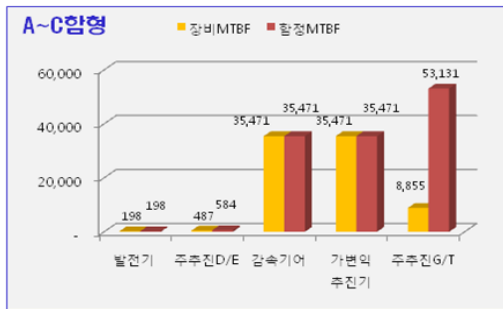


그림 10. 함형별 탑재장비 신뢰도(MTBF) 분석 결과

함형별 장비차원의 신뢰도분석결과는 [그림 10]과 같다. 분석결과는 함정운용시간대비 장비운용시간의 비율을 적용하여 장비작동시간만을 고려한 MTBF값과 함정운용시간을 고려한 MTBF값을 각각 제시하였다.

[그림 10]의 5개 장비만을 고려해 볼 때 분석대상함정의 신뢰도 향상을 위해서는 성능개량 등을 통하여 발전기와 디젤엔진 2개 장비의 신뢰도를 높여야 할 것이며 유사함정을 새로 건조할 시에 발전기와 디젤엔진의 신뢰도 향상을 위한 고려가 필요하다는 것을 알 수 있다.

또한 감속기어, 가변익추진기 등과 같이 함형간 큰 차이를 보이는 장비에 대해서는 세부적인 운용/정비현황의 확인을 통하여 신뢰도개선을 위한 방안의 도출이 가능할 것이다.

2. 정비도

함의 정비도(MTTR)는 신뢰도분석을 위하여 도출된 정비에 대한 정비소요시간을 추적하여 정비소요시간의 평균값을 산출하였다. 함별 정비도 분석결과는 [그림 11]과 같다.

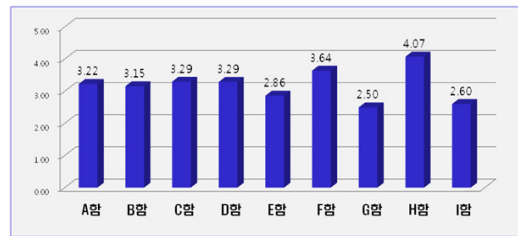
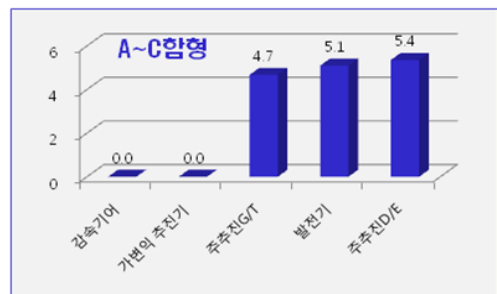


그림 11. 함차원 정비도(MTTR) 분석결과

함정의 평균MTTR은 3.2시간으로 분석되어 MTTR이 함정의 운용가용도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 확인되었다. 이 MTTR에는 군수지연시간이 포함되지 않는다. 실제 야전의 의견을 들어보면 장비고장이 복구되는 시간의 대부분은 수리부속확보시간이 차지하기 때문에 고장복구시간의 단축을 통한 운용가용도의 향상을 위해서는 MTTR보다는 군수지연시간의 단축을 위하여 노력해야 할 것이다.

함형별 탑재장비의 정비도(MTTR) 분석결과는 [그림 12]와 같다.



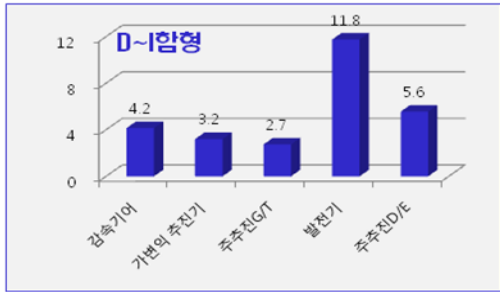


그림 12. 함형별 탑재장비 정비도(MTTR) 분석결과

[그림 12]에서 감속기어, 가변의추진기의 경우 A~C 함은 고장실적이 없어 MTTR이 산출되지 않았으나, D~I 함은 고장실적이 존재하여 장비의 MTTR이 산출되었다.

주목할 점은 디젤엔진의 경우에는 두 함형간 MTTR이 유사하게 도출되었으나 발전기의 MTTR은 D~I 함가 A~C 함에 비하여 2.3배가 높게 도출되었고 가스터빈의 MTTR은 A~C 함이 D~I 함에 비하여 1.7배가 높게 도출되는 등 함형간 차이를 보이고 있다. 물론 함형별 정비 조건의 차이가 일부 있을 수 있지만 동일 장비임에도 함형간 MTTR에 차이를 보이는 것은 원인규명이 필요하다. 즉 MTTR이 높은 함정은 MTTR이 낮은 함정보다 정비효율이 낮기 때문에 정비효율을 높일 여지가 있을 수 있다고 판단된다.

3. 가용도

가용도는 고유가용도와 운용가용도가 주요 지표로 사용된다.

고유가용도(Ai : Inherent Availability)는 예방정비 없이 이상적인 정비지원 하에서 체계가 가용할 확률로 체계의 가동시간에 체계의 가동시간과 고장에 따른 정비시간(고장정비시간)의 합으로 나눈 값을 의미한다. 이 값은 예방정비와 행정 및 군수지원시간 등을 고려하지 않은 값으로 체계개발시 개발자가 관심을 가지는 가용도값이다.

운용가용도(Ao : Operational Availability)는 실제 운용환경 하에서 임의의 시점에서 체계가 가용할 확률로 체계의 가동시간에 가동시간과 모든 비가동시간(계획

정비, 고장정비, 행정지원, 군수지원시간)의 합으로 나눈 값을 의미한다. 이 값은 실제 운용환경의 모든 시간을 고려한 값으로 체계 운용자가 관심을 가지는 가용도값이다.

가용도 중 고유가용도는 고장간평균시간(MTBF)과 평균정비시간(MTTR)을 이용하여 간단히 도출할 수 있지만 운용가용도는 비고장정비를 감안하여야 하기 때문에 총가동시간(Total uptime)과 총비가동시간(Total downtime)을 이용하여 도출하였다.

먼저 함차원의 가용도분석결과는 [표 12]와 같다. 분석시 부대정비는 실작업시간과 수리부속확보를 위한 군수지원시간을 비가동시간으로 적용하였고 야전/창정비기간(함정이 입창하여 정비중인 기간)은 모두 비가동시간으로 적용하여 운용가용도를 산출하였다.

표 12. 함차원 가용도 분석결과

함명	분석 시작	분석 종료	총시간	운용 시간	대기 시간	Down time	고유 가용도	운용 가용도
A	'06.1월	11.12월	52,584	18,154	1,731	32,699	0.973	0.378
B	"	"	52,584	20,080	5,937	26,567	0.972	0.495
C	"	"	52,584	14,897	21,322	16,365	0.980	0.689
D	"	"	52,584	18,820	23,322	10,442	0.962	0.801
E	"	"	52,584	19,679	17,614	15,291	0.966	0.709
F	"	"	52,584	18,717	17,058	16,809	0.964	0.680
G	'06.11월	"	45,288	16,177	19,495	9,616	0.984	0.788
H	'07.10월	"	37,272	13,569	15,123	8,580	0.976	0.770
I	'08.9월	"	29,208	12,368	9,865	6,975	0.994	0.761

분석결과를 보면 함정의 운용가용도값이 일반적인 경험치로 볼 때 수용가능한 값으로 도출되었다. 하지만 A함과 B함은 일반적 경험치로 볼 때 수용할 수 없는 낮은 값이 도출되었다. 낮은 운용가용도값이 산출된 이유는 DELIIS/N의 입·퇴창 기록상 긴급정비임에도 불구하고 입창기간이 3~6개월인 경우(이상값)가 다수 발견되었기 때문이다.

다음으로 탑재장비에 대한 가용도 분석결과는 [표 13][표 14]와 같다. 함형별 탑재장비의 운용환경이 다르기 때문에 함형별로 각각 제시하였다.

장비차원의 가용도는 함차원의 가용도와는 달리 모든 장비고장을 대상으로 하고 실제 소요된 고장복구시

간이 비가동시간(Downtime)으로 적용되기 때문에 합차원의 가용도 도출보다는 계산절차가 다소 간단하다.

표 13. 함형별 장비차원 가용도 분석 결과 - A~C함

장비명	운용 시간	PMS 정비		비 PMS 정비				아전/창 정비				Ai	Ao
		회수	시간	전체		고장		전체		고장			
				회수	시간	회수	시간	회수	시간	회수	시간		
발전기	106,262	192	652	907	1,913	293	1,266	243	1,465	243	1,465	0.975	0.920
D/E	106,262	101	197	449	1,938	55	226	131	784	131	784	0.989	0.918
감속기어	106,262	17	33	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000	0.997
가변익추진기	106,262	9	19	14	14	-	-	-	-	-	-	1.000	0.999
G/T	106,262	23	59	-	-	-	-	3	13	2	9	0.999	0.998

표 14. 함형별 장비차원 가용도 분석 결과 - D~I함

장비명	운용 시간	PMS 정비		비 PMS 정비				아전/창 정비				Ai	Ao
		회수	시간	전체		고장		전체		고장			
				회수	시간	회수	시간	회수	시간	회수	시간		
발전기	198,660	274	1,019	1,424	10,924	340	6,268	354	1,882	353	1,880	0.961	0.920
D/E	198,660	160	652	443	2,051	38	160	255	1,465	249	1,436	0.990	0.917
감속기어	198,660	16	42	25	72	15	61	72	301	72	301	0.998	0.974
가변익추진기	198,660	19	63	35	80	35	80	26	122	24	109	0.999	0.992
G/T	198,660	30	55	-	-	-	-	4	10	2	5	0.999	0.995

A~C함의 경우 감속기어와 가변익추진기는 고장발생 실적이 전무하여 고유가용도는 모두 100%로 산출되었고 고 고장은 없었지만 PMS가 실시되었기 때문에 운용가용도는 각각 99.68%, 99.96%로 산출되었다. D~I함에서는 감속기어와 가변익추진기의 고장실적이 있었기 때문에 평균수리시간(MTTR)과 고장간평균시간(MTBF)이 계산될 수 있었다.

두 함형의 분석결과를 보면 발전기와 D/E의 가용도가 매우 낮게 도출되었다.

4. 장비별 분석종합

이상의 RAM분석결과를 종합하면 실무에서 즉시 활용이 가능한 자료가 도출된다.

표 15. 장비별 RAM분석 종합

장비명	000		
탑재대수/동시운용대수	1 / 1		
운용비율	0.9893		
신뢰도	합MTBF(장비MTBF)	640(633)	
	MTBF(95%)	-	
	MTBF(50%)	-	
	분포 분석	추세	감소추세
		Beta	0.6247
Lambda		0.0614	
MTBF		1072	
정비도	분포	대수정규	
	MTTR	4.0	
가용도	고유가용도	0.9943	
	운용가용도	0.9346	
	운용시간	53,131	
	대기시간	94,298	
	고장정비시간	303	
	downtime	10,322	

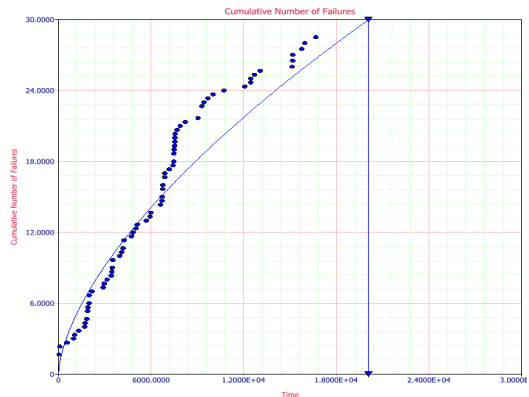


그림 13. 누적 고장 분포

[표 15]와 [그림 13]은 000에 대한 상세한 분석결과를 제시하고 있다. ‘운용비율’은 함정운용시간 대비 장비운용시간의 비율을 말하고 ‘합MTBF(장비MTBF)’는 함정운용시간기준과 장비운용시간기준의 MTBF를 의미한다. ‘추세’는 Laplace test결과 통계적으로 유의미한 고장추세를 보인다는 것이며 ‘Beta(β)’와 ‘Lambda(λ)’는 Power Law Process의 형상모수와 척도모수이다.

추가적으로 RAM분석을 통하여 000의 고장을 유발하는 품목들을 [표 16]과 같이 도출할 수 있다. 이는 정비계획수립이나 부품조달계획수립에 즉시 활용될 수 있는 정보라고 판단된다.

표 16. 고장빈도 상위품목 현황

순번	고장빈도 상위 품목			
	NIIN	품명	정비횟수	소비량
1	37A195556	스위치,근접식	14	20
2	37A199415	하프-링	6	16
3	150559846	추진장치 조립체	5	11
4	37A195555	스위치,근접식	5	6
5	150594326	퓨즈,통형	5	27
6	150572940	백열등	5	19
7	150575615	스프링,나선형,인장용	5	7
8	150575182	레버	4	4
9	150577539	유니버설조인트	4	4
10	150594325	퓨즈,통형	4	23
11	37A195715	스위치,근접식	3	3
12	37A195554	스위치,근접식	3	3
13	37A195552	스위치,근접식	3	3
14	37A194357	증폭기,모듈용	3	3
15	150581038	스프링,나선형,인장용	3	3
16	001557815	백열등	2	5
17	150560530	기어 섹터,스퍼형	2	3
18	006464636	퓨즈,통형	2	22
19	151103292	브러시	2	22
20	151495202	스프링,나선형,압축	2	2

VII. 분석결과의 활용

1. 신뢰도

신뢰도 분석결과는 기존 운용무기체계의 경우에 업체에서 제시한 CSP(Concurrent Spare Parts)산출결과의 검증에 활용될 수 있다. 현재 해군에서는 국내구매와 국외구매를 막론하고 CSP적중률이 매우 낮은 실정이다. 물론 CSP선정시 비수요필수품목(CSP운영기간 중 소요가 예상되지는 않으나 예기치 않은 사고발생, 오작동, 정비실수 등으로 소요가 발생될 경우에 체계운영이나 안전에 심각한 영향을 미칠 것으로 판단되는 품목)이 반영됨에 따라 CSP산정기간동안 소모되지 않는 부품이 있다고는 하나 그 수치가 매우 낮을뿐더러 정작 정비에 소요되는 중요한 부품은 CSP에 누락되어 있어 야전운용자들은 무기체계 정비에 애로를 토로하고 있다. 이러한 현상은 예산의 낭비뿐만 아니라 장비 운용 가용도의 저하에 영향을 미치고 있다.

이러한 문제점은 무기체계 운용 간에 발생된 고장률 데이터가 있다면 개선이 가능하다. 무기체계 운용 간에 발생된 고장률데이터는 본 연구와 같은 야전운용제원 분석을 통하여 얻어질 수 있으며 향후 전 함정을 대상으로 분석이 이루어진다면 그 정확성은 더욱 높아질 것이다.

물론 국내·외 업체는 자신들이 제시한 신뢰도값들이 MIL-HDBK-217, NPRD/EPRD 등과 같은 신뢰할 수 있는 데이터를 근거로 작성되었다고 주장하나 고의든 비고의든 분석과정에서 오류가 발생될 가능성이 많기 때문에(지나치게 낮은 CSP적중률) 한국 해군이 운용하면서 획득된 고장률데이터를 통하여 검증이 이루어져야 할 필요가 있다.

다음으로 신뢰성 분석결과는 무기체계의 신뢰성 향상 방안을 강구하는데 유용하게 활용될 수 있다. 수백개의 시스템으로 구성된 함정의 경우 특정 시스템의 고장에 따라 함정이 임무수행이 불가능해 질 수 있다. 이러한 경우 고장률이 높은 시스템에 대한 성능개선 또는 고장률이 개선된 시스템으로의 교체를 통하여 함정의 신뢰성을 높일 수 있으며, 개별 시스템의 경우에도 시스템의 신뢰성을 저하시키는 구성품에 대한 신뢰성 향상을 통하여 해당 시스템의 신뢰성을 향상 시킬 수 있다.

또한 신뢰도 분석결과는 차기 유사 무기체계를 개발할 때 신뢰성 목표값의 기준으로 유용하게 활용될 수 있다. 무기체계의 성능이 아무리 우수하더라도 성능을 발휘해야 할 시점에 고장이 난다면 무용지물이 될 것이다. 따라서 개발업체로 하여금 무기체계를 개발시 성능뿐만 아니라 무기체계의 신뢰성에 대한 목표값을 부여하고 그 목표값의 달성여부를 평가하여야 한다. 이때 개발업체는 무기체계의 성능과 신뢰성 목표를 달성하기 위한 설계에 야전운용경험자료를 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

이 외에도 운용단계에서는 경제적 총수명주기비용 추정, 경제적 Overhaul 주기 추정, 수리부속 소요 추정, ILS/LSA 산출물의 최신화 등에, 연구개발단계에서는 CSP산출과 ILS/LSA 입력자료 등으로 활용이 가능할 것이다.

2. 정비도

정비도 분석결과는 운용중인 무기체계의 경우 기존 예방(계획)정비 효과도 제고방안 수립, 정비 취약부분 식별 및 집중관리 방안 수립 등에 활용됨으로써 장비가동률을 향상할 수 있다.

본 연구의 정비자료현황을 보면 부대정비의 경우 비PMS정비건수가 PMS정비건수의 2.6배에 달하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 비PMS정비건수의 49%가 고장에 의한 정비인 것으로 분석되었다. 물론 본 분석에서는 신뢰성고장(장비의 정상적인 운용에 따른 고장)과 비신뢰성고장(운용상 부주의 등에 의한 고장)을 구분하지 않고 있지만 PMS정비건수의 2.6배에 달하는 비PMS정비건수는 기존 PMS계획의 수정이 필요하다는 것을 반증해 주고 있다.

또한 정비도 분석결과는 정비빈도가 높은 정비, 정비난이도가 높은 정비, 정비소요시간이 긴 정비 등을 식별함으로써 해당정비의 원인을 분석하고 개선방안을 도출하는데 활용할 수 있으며 향후 유사장비를 신규로 개발할 때 이러한 정비취약부분을 설계에 반영하거나 자동점검기능을 증대하는 등의 장비가동률 향상방안을 강구하는데 활용될 수 있다.

3. 가용도

가용도 분석결과는 운용중인 무기체계의 가용도평가를 통하여 전투준비태세 및 가동율을 평가할 수 있다.

전투준비태세라 함은 계획된 임무와 기능을 수행하기 위해 부대, 무기체계, 장비의 능력이 준비되어 있는 태세를 의미하며 전투준비태세 보고에는 부대수준과 전투준비태세 요소들에 대한 지휘관 평가를 포함한다.

이때 부대수준이라 함은 보고서 작성시점에서 부대의 전사편성에 대한 병력, 장비, 물자 등의 자원과 훈련 상태에 대한 평가를 말하며 지휘관 평가는 부대수준 평가, 작계시행 능력(전장기능분석) 전투준비태세 수준 저해요인 및 추가소요 전력에 대한 지휘관의 의견을 말한다. 또한 전투준비태세는 임의의 시점에서 부대가 요구되는 장비대수 이상을 운용 가능한 상태로 유지하는 능력을 말한다. 전투준비태세수준은 부대의 장비보유대수 중에서 운용가능한 장비대수의 비율인 장비가동

률 수준으로 정의된다. 하지만 해상장비는 복합 무기체계임에 따라 장비가동률을 산출할 수 없으므로 운용가용도를 통하여 전투준비태세수준을 평가할 수 있다.

따라서 본 연구보고서에서 제시된 함정 및 장비에 대한 운용가용도 분석결과를 통하여 현재 함정의 운용가용도는 어떠한가, 함정의 운용가용도를 저해하는 장비는 어떤 장비이고 그 장비의 운용가용도를 향상하기 위해서는 어떤 요소를 개선해야 할지에 대한 개선방안의 수립에 활용될 수 있다.

VIII. 결론

1. 결론 및 연구의 의의

야전운용제원(Field data)을 이용한 RAM분석은 무기체계의 운용/정비현황의 점검과 운용가용도 개선방안의 도출뿐만 아니라 획득단계 전반의 효율성제고에 효과적으로 활용될 수 있는 중요한 분석이지만 해군함정의 경우 고장정보의 부재로 인하여 분석이 수행되지 못하였다.

본 연구는 고장정보는 부재하지만 해군의 군수시스템(장비정비정보체계, DELIIS/N) DB에 함정의 정비실적과 자재소비실적 데이터가 존재함에 착안하여 수리부속 소모실적을 기반으로 고장을 추적함으로써 고장정보를 생성하는 새로운 분석프로세스를 정립함으로써 야전운용제원을 이용한 RAM분석을 가능토록 하였다.

본 연구에서 제시한 전투함정 9척에 대한 분석결과에 대한 현 장비운용자들의 검토결과 현실과 상당히 부합하는 분석결과가 도출된 것으로 확인함으로써 분석프로세스에 대한 타당성을 검증하였기 때문에 함정운용 관련 정책부서나 운용부대에서 즉시 활용이 가능할 것이다. 또한 야전운용제원분석결과를 활용한 추가적인 분석을 통하여 탑재장비 및 함정의 적정 창정비(Overhaul; OVHL)주기를 산출함으로써 과소·과대인 c창정비주기로 인한 비효율을 제거할 수 있고, 함정 수명주기간 정비소요와 정비비용의 추정이 가능해짐에 따라 군수정책수립에 참고자료로 활용되는 등의 부가적인 용도로 활용이 가능하다.

지금까지의 무기체계에 대한 RAM분석은 RELEX 등과 같은 분석툴을 사용하거나, MIL-HDBK-217, NPRD /EPRD 등에서 제시하는 분석방법과 데이터를 활용하거나, 무기체계 개발시 소수의 부분품에 대한 가속수명시험 등의 시험결과를 활용하여 예측값위주의 RAM분석을 수행하여 왔다.

하지만 이러한 예측위주의 RAM분석은 우리나라 고유의 운용환경과 야전의 다양한 환경변수들을 고려하지 못한다는 한계를 가지고 있다. 특히 분석의 기초가 되는 DB는 모두 외국의 개발 및 운용 환경을 기반으로 한 DB이다.

따라서 본 연구와 같은 우리나라의 운용환경과 현장의 다양한 변수들의 영향이 반영된 야전운용제원분석은 기존의 RAM예측값의 보정과 검증에 유용하게 활용될 수 있으며 향후 충분한 DB가 누적된다면 우리나라 고유의 RAM분석 기반 DB로 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구의 한계점 및 향후 연구방향

본 연구가 해군함정을 대상으로 한 최초의 야전운용제원분석이라는 데 의의가 있지만 고려되어야 할 많은 사항이 고려되지 못한 한계점을 가지고 있다.

먼저 가장 큰 한계점은 S/W적인 고장에 대한 분석과 업체에 의한 정비를 반영하지 못한다는 분석범위의 한계이다. 무기체계가 첨단화되면서 연구개발에서 S/W가 차지하는 비중이 급격히 증가하고 있고 그에 따라 운용 간 S/W정비 비중도 높아질 것이나 본 연구에서는 이를 고려하지 못하였으며, 무기체계 첨단화에 따른 업체에 의한 정비가 급격히 증가하고 있으나 업체에 의한 정비실적을 DELIIS/N에서 관리할 수 없어 이를 고려하지 못하였다.

다음으로 분석프로세스 자체에도 한계점을 내포하고 있다. 분석의 근간이 되는 데이터인 고장정보가 입력되고 있지 않아 그 대안으로 수리부속 소모실적과 특성정보를 이용한 고장추적방법을 정립하여 분석에 활용하였으나 추적된 고장의 정확성에 한계를 가지고 있다. 중요 수리부속의 소비를 고장으로 판단함에 예방차원의 수리부속교체가 고장 건으로 집계되는 등 고장 과대 판단의 가능성과 고장이지만 수리부속의 소비가 없이

수리가 이루어졌다면 고장 건으로 집계 되지 않는 등 고장 과소판단의 가능성이 존재한다.

마지막으로 분석자료의 부족, 오류, 결측(missing)에 따른 한계점이다. 전술한 바와 같이 야전운용제원분석은 고장정보를 기반으로 하여야 하나 고장정보의 부재로 수리부속 소모실적과 특성정보로 고장을 추적하여 분석을 수행하였다. 특히 수리부속의 특성정보는 함정 운용자의 주관적인 판단에 의존하였기 때문에 휴먼에러의 가능성을 내포하고 있다. 따라서 분석의 정확성을 향상하기 위해서는 분석이 가능한 수준의 고장정보가 입력되었는지 수리부속의 특성정보가 무기체계 도입단계에서 정확하게 확보되어 목록정보로 관리되어야 하며 정보의 오류나 결측을 최소화하여야 할 것이다.

향후의 연구에서는 연구의 정확도 개선을 위하여 고장분류간 과대 또는 과소판단을 최소화 할 수 있는 분류프로세스에 대한 보완연구와 본 연구에서 고려하지 못한 외주 및 S/W 정비를 포함할 수 있는 방안연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 방위사업청, *종합군수지원 개발 실무지침서*, 2009.
- [2] US DoD, *DoD Guide for Achieving Reliability, Availability, and Maintainability*, 2005.
- [3] 최석철, 손문국, “무기체계 신뢰도 향상방안 연구”, 신뢰성응용연구, 제8권, 제1호, pp.39-52, 2008.
- [4] 국방기술품질원, *신뢰도 예측 모델 워크숍*, 2012.
- [5] 김광태, “국방 신뢰성 정책 및 제도 발전방향”, 신뢰성응용연구, 제7권, 제3호, pp.101-110, 2007.
- [6] 해군본부, *OOO 야전운용제원 분석결과 검토회의*, 2012.9.24.
- [7] MBN, ‘방위산업 수출 ‘쑥쑥’ ... 사상 첫 30억 달러 목표’, 2012.1.28.
- [8] <http://www.index.go.kr/egams/index.jsp>
- [9] 아시아경제, ‘대우조선, 8000억원 규모 영국 군함 4척 수주’, 2012.3.12
- [10] US DoD, *MIL-HDBK-338B(Electronic Reliability Design Handbook)*, 1988.

[11] Rausand, M. and Hoyland, A., *System Reliability Theory : Models, Statistical Methods, and Applications*, John Wiley & Sons, 2004.

[12] Langford, J. W., *Logistics : Principles and Applications*, McGraw Hill, New York, 1995.

[13] IEEE, *IEEE Std 610.12-1990(IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology)*, New York, NY, 1990.

[14] 최규식, 김용경, '소프트웨어의 일정테스트노력과 웨이블 테스트 노력의 비교 연구', 한국콘텐츠학회, 춘계종합학술대회논문집, Vol.4, No.1, pp.444-447, 2006.

[15] IEEE, *IEEE Std 982.1-1998(IEEE Standard for Measures for Reliable Software)*, New York, NY, 1998.

[16] 최규식, '테스트 및 운영중 소프트웨어의 오류 원인 분석', 한국콘텐츠학회, 춘계종합학술대회논문집, Vol.4, No.1, pp.455-458, 2006.

[17] 국방부, *국방군수용어사전*, 2008.

[18] 세계일보, '도입한지 얼마나 됐다고... 고장난 F-15K', 2011.9.9.

[19] 방위사업청, *방위사업관리규정*, 2012.

[20] 기술품질원, *00/000체계 야전운용제원 수집/분석 기술지원 사업종결보고*, 2011.

장 정 무(Chung-Moo Chang)

정회원



- 1993년 3월 : 해군사관학교(문학사)
- 2000년 2월 : 성균관대학교(경영학석사)
- 2005년 2월 : 성균관대학교(경영학박사)

▪ 현재 : 국방기술품질원근무

<관심분야> : 국방획득, 국방원가, 국방신뢰성

원 유 동(You-Dong Won)

정회원



- 1978년 2월 : 한양대학교 공업경영학과(공학사)
- 1983년 1월 : Columbia University, Dept. of IE & OR (MS)
- 1995년 2월 : 한남대학교 경영학과(경영학박사)

▪ 현재 : 경남대학교 경영학부 교수

<관심분야> : 6시그마경영, Group Technology, Business Simulation

저 자 소 개

손 정 목(Jung-Mok Sohn)

정회원



- 1978년 3월 : 해군사관학교(이학사)
- 1999년 12월 : 호주 국방대학 수료
- 2004년 2월 : 한남대학교 군사전략학(석사)

▪ 2008년 11월 : 한남대학교 경영대학원 최고경영자과정 수료

▪ 2010년 9월 : 경남대학교 경영대학원 박사과정 중

▪ 현재 : 해군참모차장

<관심분야> : 군사교육, 국방전력, 군수, 전략, 예산